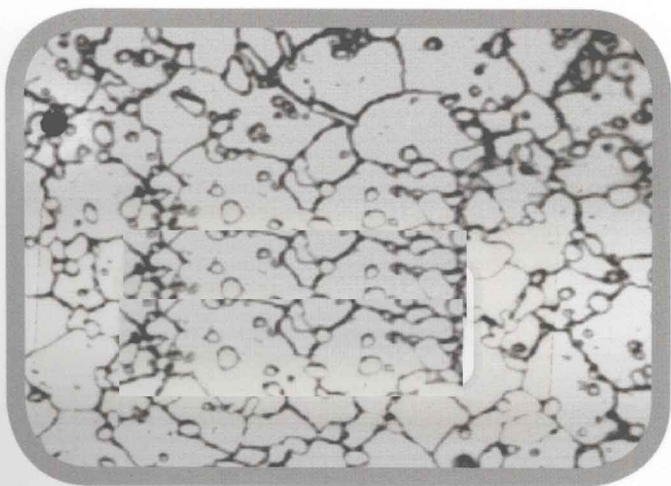




从校园到职场

热处理检验与质量控制

邵红红 吴晶 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

从校园到职场

热处理检验与质量控制

邵红红 吴 晶 编著



机械工业出版社

寄语刚参加工作的大学毕业生

当你大学毕业后，无论是在工厂、企业、公司、事业单位从事何种工作，都将发生角色转变，将从一名学生变成一名工程师、设计师、规划师、经济师，等等。可大多数大学生刚毕业时，还不能马上树立比较正确的人生目标，缺少生活经验、工作技能。为了帮助各位学子能尽快转变角色，少走弯路，尽快成为企事业骨干、社会栋梁，机械工业出版社组织编写出版了“从校园到职场”系列丛书，以“学校送一程、企业接一程”的理念，架起从校园到职场的桥梁。

1. 从学生到工程师的心理转变

学生，从小学到大学毕业，经过了16年的历程，已经有了一定的生活经历、生活观念与价值标准。学生成功与否的标准就是看考试成绩，生活的主体就是读书，人和人都是平等的，信念是理想的。但是，参加工作后，理想会有很多与现实不太吻合的东西。首先，判断一个人的成功，不再仅是考试成绩了，不是光靠用功读书就能成功的。工作后，是否完整地干好领导交给你的工作：修理一台机器、设计一个产品、组织一个活动、写一个工作方案等等，你的工作结果是否符合实际要求，是否令同事与领导满意，就是一个判断标准了。

工作成功的标准，就是要把交给你的工作先是干完，然后是干好，之后是干精，最后是干出特色与创新。这样，才能逐渐适应工作、熟悉环境、赢得同事与领导的信任，承认你的工作能力，从而把更为复杂、重要的任务交给你，从而得到更多的锻炼，得到重用与提升。所以，进入社会后，首先要降低身份，以平等的地位同一切人交往，向周围的同事、工作人员、领导学习。要做到四勤：手勤、腿勤，嘴勤、脑勤。要做一个为人随和的人、积极向上的人、工作踏实的人。这样你就可以更快、更好地赢得尊重，获得成功。

2. 从学生到工程师的能力转变

一个大学毕业生到了工作岗位，首先要学习基本的技能、知识，熟悉环境、熟悉单位的工作流程，逐渐掌握基本技能。当你能够处理一个环节、一个工序或工艺中的问题，维护生产的正常运行时，你就成为一名初级工程技术人员了；当你能独立主持一件小产品的开发或大型产品里一个部件的开发工作，能把产品设计并制造出来，达到合格的技术要求后，你就是一名工程师了；当你要考虑如何把产品做好、如何把产品做精、如何把产品做出创新时，你就逐渐成为工程师中的高手了；当你可以主持一个大型产品的研发时，你就具有高级工程师的水平了；再继续往上，当你具有把握企业技术发展方向、具有组织大型产品的研发能力时，就是总工

IV

工程师的水平了。当然，还需要有足够的经历、资历与机会。一名大学生的技术水平就是这样逐渐提高的。

3. 从学生到工程师的专业知识积累

关于专业的问题，一个大学毕业生，是有一个专业特长的，如机械类、电气类、计算机、管理类等等。在企业，首先要延伸学习你自己的专业知识，在学校所学仅仅是其皮毛而已，其次要注意学习其他专业的知识。因为，到工作岗位后，领导交给你的任务可能是多个专业交叉的问题，不一定是你很熟悉的内容，企业也更需要能为企业提供全面解决方案的综合型人才。此时就要自己学习了，找到有关的书籍，先学习基础理论，再通过网络学习、杂志学习、参观学习较新的知识，了解有关的知识与技能，你就可以获得更宽广的专业知识。此时要有信心，因为学过一个专业后，再学另一个专业，是比较容易的。再者，大学只有四年，工作可能要有四十年，补充新知识是必然的，学习新知识是工作后经常的事。

4. 从学生到工程师的成长建议

判断与取舍：如果做一件事情是自己不擅长的，肯定做不好。只有放弃不适合的，才能在自己更适合的领域内投入做自己更擅长的事业。无法判断该放弃什么的人，也无法判断该干什么。让鸭子学短跑，让兔子学游泳，即使练一辈子，也难以有好结果的。一个技术问题也一样，如果不具有可行性，那就要放弃。对任何一件事，要估计其最好和最坏的程度，如果最坏也能承受，就可以去干。

主动与闯劲：性格决定命运，主动的人比被动的人会有更多机会。要有主动精神与百折不挠的劲头，有闯出新天地的勇气，才有成功的可能。被动、胆小是成功的大敌。

水平与脾气：真正的高手是很谦虚的，因为他知道还有更多的未知。不必要的脾气在与人沟通时会设置障碍，失去获得知识、提高自己的机会。

继承与创新：科技中继承是大多数，创新是一点点，所以先要学会继承并掌握，才能在其基础上提出改进、有所创新。创造条件是创新的基础，只有达到某种条件后，可能才会出现，第一个发现机会并克服困难而成功实践的人，才是真正的高手。

坚持与规划：做事要坐得住，凡是心中长草到处乱跑的人，难以干好一件事情。做人要有规划，做事要有计划。要有近期规划和长远规划，否则极易容易随波逐流，人生的志向和成功也就丧失在繁琐的日常生活中了。

最后，希望各位学子能尽快适应新的工作岗位，事业顺利，找到自己的发展空间。做人低调，做事认真，忍得住寂寞，受得了批评。还要记住：对于不断追求进步的人，学习是终生的任务和义务。在充满未知与新奇、充满平淡与辉煌、充满快乐与痛苦、充满成功与失败的人生道路上永远向前！向前！当我们年迈时，回首曾经的岁月，不一定有多大的成功，但我们可以说“我认真努力过了，我不后悔。”就足够了。

前 言

随着我国经济建设的快速发展，金属材料，特别是经过热处理的金属材料的需求量将会明显增加。许多企业在产品市场竞争中都凭借其掌握的热处理技术来保证产品质量，赢得市场。热处理是机械制造业中的关键工序之一，对发挥金属材料潜力、提高零件的性能、降低能耗、保证和提高机械产品使用寿命有着重要意义。近年来，科学技术迅猛发展，热处理技术不断进步，新工艺、新技术、新材料层出不穷，这都为热处理质量的提高奠定了坚实的基础，同时也对热处理技术人员的素质和技术水平提出了更高的要求。

当前，我国机械行业的热处理从业人员的技术水平和工艺水平参差不齐，是导致同种工件的使用寿命相差几倍以上的最重要原因。此外，各企业的热处理技术骨干以及后备技术骨干大多来自于高校毕业生，而目前我国大部分高校对材料科学与工程本科专业本科生实施的是“大材料”的培养方案，虽然学生知识面宽了，但某一方面的专业知识却很薄弱，尤其是实践知识与实际技能更缺乏。例如，“材料成形与控制工程”专业的学生，对热处理知识的了解非常有限，即便是“金属材料工程”专业的学生，对热处理质量检验与控制的掌握也不尽如人意，不能满足热处理生产企业的要求。为了使这些具备一定的热处理理论基础、即将从事热处理技术岗位的高校毕业生尽快进入角色，尽快成长为一名合格的热处理工程师，我们编写了这本《热处理检验与质量控制》。

本书系统地介绍了热处理产品质量检验与质量控制的项目、内容及方法。其主要内容包括：原材料的检验、显微组织分析与检验、力学性能测试、无损检测、热处理变形和裂纹、热处理质量控制概述、结构钢热处理质量控制、工具钢热处理质量控制、化学热处理质量控制、感应热处理质量控制。

本书第1~4章、第6章由吴晶高级工程师编写，第5章、第7~10章由邵红红教授编写。在本书编写过程中参考了许多文献资料，主要文献列于书后，在此谨向所有参考文献的作者表示诚挚的谢意。限于作者水平，不足之处在所难免，恳请同行和读者批评指正。

编 者

目 录

寄语刚参加工作的大学毕业生

前言

第 1 章 原材料的检验	1
1.1 宏观检验	1
1.1.1 钢锭的组织及其宏观缺陷	1
1.1.2 酸蚀试验	3
1.1.3 硫印试验	7
1.2 钢的火花检验	8
1.2.1 检验设备与操作	9
1.2.2 火花的形成及结构	11
1.2.3 钢的成分与火花特征	12
1.3 成分光谱分析	15
1.3.1 荧光 X 射线分析	15
1.3.2 原子发射光谱分析	18
1.4 钢中成分偏析与带状组织	23
1.4.1 成分偏析的类型	23
1.4.2 带状碳化物及网状碳化物	24
1.4.3 碳化物液析及碳化物不均匀性	26
1.5 钢中非金属夹杂物的检验	27
1.5.1 钢中非金属夹杂物的类型	27
1.5.2 金相法鉴定钢中非金属夹杂物	29
1.5.3 夹杂物的评级	31
第 2 章 显微组织分析与检验	33
2.1 金相试样的制备	33
2.1.1 取样	33
2.1.2 制样	34
2.1.3 显微组织的显示	36
2.2 定量金相方法	37
2.2.1 定量金相试样的选取和制备	39
2.2.2 晶粒大小的测定	40
2.2.3 多相合金组织特征参数的测量	46
2.2.4 第二相粒子尺寸和分布特征参数的测量	48
2.3 典型显微组织检验技术	49

2.3.1 结构钢与工具钢检验	49
2.3.2 铸铁检验	67
2.3.3 不锈钢和奥氏体锰钢检验	74
2.3.4 非铁金属及其合金检验	76
2.4 典型热处理缺陷检验	80
2.4.1 过热与过烧	80
2.4.2 脱碳	83
第3章 力学性能测试	85
3.1 硬度试验	85
3.1.1 布氏硬度试验	85
3.1.2 洛氏硬度试验	88
3.1.3 维氏硬度试验	90
3.2 静拉伸试验	92
3.2.1 应力-应变曲线及其力学性能指标	92
3.2.2 拉伸试样	94
3.2.3 拉伸试验机	95
3.2.4 拉伸试样断口分析	99
3.3 冲击试验	100
3.3.1 冲击试验原理	100
3.3.2 冲击试样	101
3.3.3 冲击试验机	103
3.3.4 冲击试验的应用	104
第4章 无损检测	105
4.1 内部缺陷无损检测	105
4.1.1 射线检测	105
4.1.2 超声波检测	108
4.1.3 声发射检测	112
4.2 表层缺陷无损检测	114
4.2.1 磁力检测	114
4.2.2 渗透检测	118
4.2.3 涡流检测	121
第5章 热处理变形和裂纹	126
5.1 热处理内应力	126
5.1.1 热应力	126
5.1.2 组织应力	127
5.1.3 影响热处理内应力的主要因素	127
5.2 热处理变形	128
5.2.1 热处理变形的类型及特征	128

5.2.2 减小热处理变形的措施及变形的矫正	131
5.2.3 热处理变形问题的分析	133
5.3 热处理裂纹	135
5.3.1 加热不当形成的裂纹	135
5.3.2 淬火裂纹及对策	137
5.3.3 其他热处理裂纹及对策	143
5.4 热处理变形与裂纹的检测	144
5.4.1 热处理变形的检测	144
5.4.2 热处理裂纹的检测	144
第6章 热处理质量控制概述	147
6.1 热处理质量保证体系	147
6.2 产品设计中的热处理质量控制	148
6.3 热处理工艺设计中的质量控制	148
6.4 热处理生产中的质量控制	150
6.4.1 加热质量控制	150
6.4.2 正火与退火质量控制	153
6.4.3 淬火与回火质量控制	155
第7章 结构钢热处理质量控制	162
7.1 调质钢热处理质量控制	162
7.1.1 钢中奥氏体晶粒尺寸的控制	162
7.1.2 钢的淬透性及其性能	164
7.1.3 危险尺寸与淬裂	166
7.1.4 钢的调质工艺及调质质量检验	166
7.2 弹簧钢热处理质量控制	168
7.2.1 热成形弹簧钢热处理质量控制	169
7.2.2 冷成形弹簧钢热处理质量控制	171
7.2.3 弹簧的热处理质量检验及缺陷控制	172
7.3 轴承钢热处理质量控制	173
7.3.1 铬轴承钢热处理质量检验	174
7.3.2 特殊性能轴承钢的热处理质量控制	178
第8章 工具钢热处理质量控制	184
8.1 冷作模具钢热处理质量控制	184
8.1.1 冷作模具钢预备热处理质量控制	185
8.1.2 冷作模具钢最终热处理质量控制	187
8.2 热作模具钢热处理质量控制	190
8.2.1 热作模具钢预备热处理质量控制	190
8.2.2 热作模具钢最终热处理质量控制	192
8.3 塑料模具钢热处理质量控制	197

8.3.1 塑料模具热处理工艺及特点	198
8.3.2 塑料模具钢热处理缺陷及对策	200
8.4 高速工具钢热处理质量控制	202
8.4.1 高速工具钢退火及质量控制	203
8.4.2 高速工具钢淬火、回火及质量控制	204
第9章 化学热处理质量控制	209
9.1 渗碳工件的质量控制	209
9.1.1 渗碳过程质量控制	210
9.1.2 渗碳后淬火、回火质量控制	211
9.1.3 渗碳件质量检查	213
9.2 渗碳工件的常见缺陷及对策	216
9.2.1 渗碳层中黑色组织的控制	216
9.2.2 渗碳层中粗大网状碳化物组织的控制	216
9.2.3 渗碳层其他缺陷及控制	217
9.3 渗氮工件质量控制	218
9.3.1 渗氮前的预备热处理及控制	218
9.3.2 渗氮件质量检验	219
9.4 渗氮工件常见缺陷及对策	222
9.4.1 渗氮层脆性和剥落的控制	222
9.4.2 渗氮层硬度、深度不足等缺陷的控制	222
第10章 感应热处理质量控制	225
10.1 感应淬火及回火质量控制	225
10.1.1 感应淬火工艺及控制	225
10.1.2 感应淬火后回火工艺及控制	230
10.1.3 感应热处理工件质量检验	231
10.2 感应热处理工件缺陷及对策	233
10.2.1 硬化层硬度不足或软点、软带的控制	233
10.2.2 感应淬火变形、开裂的控制	234
10.2.3 感应淬火其他缺陷的控制	235
10.2.4 感应热处理操作规范	236
附录	238
附录 A 侵蚀剂	238
附录 B 金属布氏硬度 (HBW) 数值表	241
附录 C 压痕对角线长度与维氏硬度值 (HV10) 对照表	243
附录 D 各种钢的硬度与强度换算 (GB/T 1172—1999)	250
附录 E 拉伸、冲击性能名称及符号新旧标准对照	253
参考文献	255

第 1 章 原材料的检验

1.1 宏观检验

宏观分析又称粗视检验，是用肉眼直接观察或用 30 倍以下放大镜观察金属材料断口或磨面的宏观组织和缺陷的方法。宏观分析的试样观察面积大、视域宽、范围广，检验方法、操作技术以及所需要的检验设备简单，能迅速、较全面地分析金属材料由于冶金质量、加工质量致使金属材料的内部或表面产生缺陷的原因，但不能观察金属组织结构的细节。常用的宏观分析方法有酸蚀试验、断口分析、贴片分析、断口检验和塔形试验等。在生产检验中，可根据检验的要求来选择适当的宏观分析方法。

1.1.1 钢锭的组织及其宏观缺陷

1. 钢锭的凝固过程和组织状态

典型的钢锭组织可分为三个明显的不同区域，它们分别是靠近模壁的细小等轴晶体区、由细小等轴晶体区向铸锭中心生长的柱状晶体区和铸锭中心较为粗大的等轴枝晶区，如图 1-1 所示。

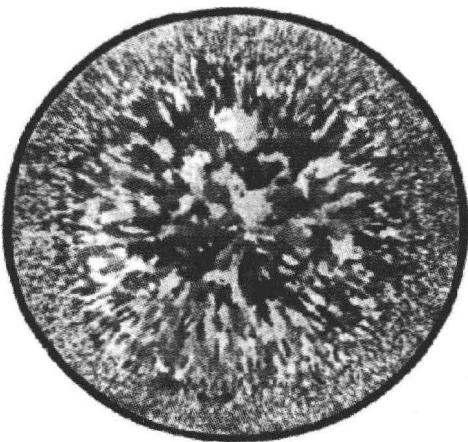


图 1-1 典型铸锭组织

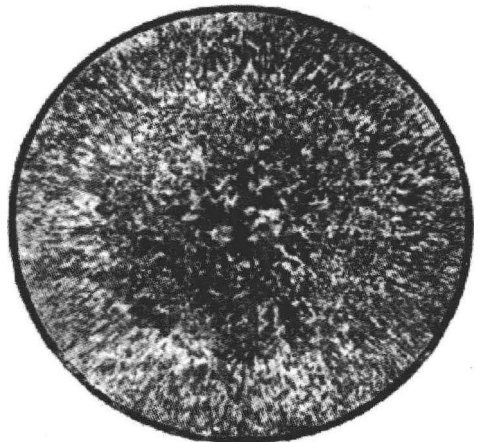


图 1-2 铸锭组织（浇铸温度过高
中心部分组织消失）

钢锭的凝固过程和组织形态与锭模的种类、锭模预热温度、金属的浇铸温度、过热温度、变质处理条件等因素有关。采用金属模及增加其模壁厚度,可使液态金属获得较大的内外温差,这有利于柱状晶区的形成。在相同的浇铸温度下,金属模比砂模可获得更大的柱状晶区。铸模预热温度越高,等轴晶区就越大。浇铸温度越高,内外温差就越大,凝固所需的时间就越长,这使柱状晶有充分的时间和机会得到发展;同时液态金属温度越高,非自发晶核的数目就越少,这更有利于柱状晶体的发展,如图 1-2 所示。

加入变质剂能增加结晶核心数目。因此,在其他条件相同的情况下加入变质剂有利于得到细小的晶粒。但是,如果液态金属过热程度较大,将使非自发晶核数目减少,得到粗大的柱状晶晶粒。

机械振动、磁场振动、超声波处理等也可促进晶核形成,减弱柱状晶体的发展,这也有利于得到细小等轴晶体。在一般铸件中都希望得到等轴细晶粒,在个别情况下要求得到柱状晶体。例如,涡轮叶片常采用定向凝固法有意使整个叶片由同一方向、平行排列的柱状

晶体所构成。在纯金属中,结晶后柱状晶体往往贯穿整个铸锭,这种组织称为穿晶。当浇铸温度较高、铸模的散热速度较快、已结晶的金属导热性能较好时,铸锭凝固过程中液态金属始终保持定向散热,这种情况下柱状晶体能一直长大到铸锭中心,形成穿晶,如图 1-3 所示。

在钢铁生产中,不希望得到塑性相对较差的柱状晶体,故生产上常用变质处理

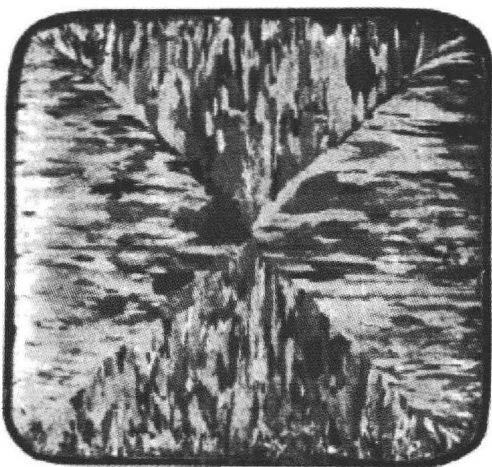


图 1-3 穿晶

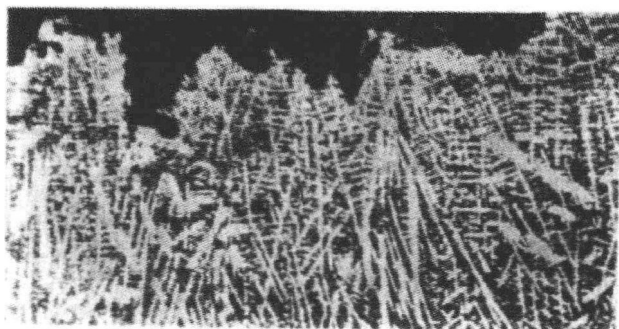


图 1-4 树枝晶体组织

和物理方法控制柱状晶体。在铸锭组织结构中，纯金属在铸锭的表面、缩孔处可以清楚地看到树枝晶体组织（见图 1-4），而在铸锭内只能看到外形不规则的晶粒。在铸态合金的组织中，由于晶内偏析或结晶顺序不同，其金相试样经适当侵蚀后，用金相显微镜可以看到合金内部的树枝晶体组织，即枝晶偏析。

2. 钢锭的典型宏观缺陷

钢锭在凝固过程中由于浇铸温度、冷却速度和不熔杂质等因素，易造成钢锭表面有明显的宏观缺陷，如缩孔、疏松、偏析、气孔、裂纹、树枝晶、白点等，分别如图 1-5 ~ 图 1-11 所示。

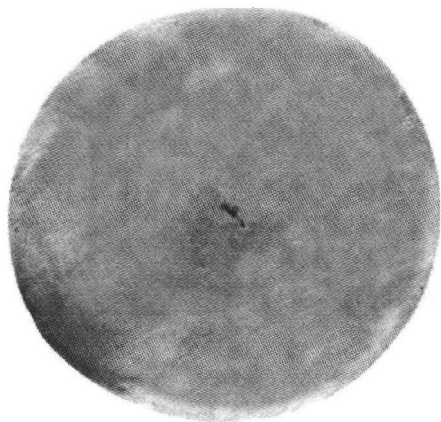


图 1-5 缩孔

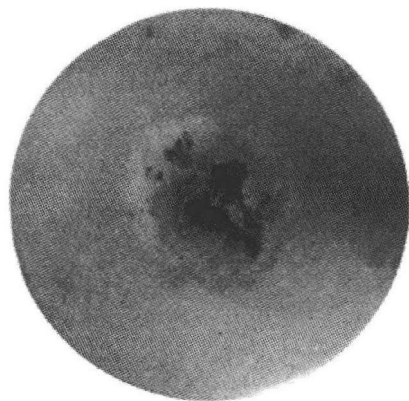


图 1-6 疏松

1.1.2 酸蚀试验

酸蚀试验利用酸液对钢铁材料各部分侵蚀程度的不同，可清晰地显示钢铁的低倍组织及其缺陷。这种方法设备简单、操作方便，能清楚地显示钢铁材料中存在的各种缺陷，例如裂纹、夹杂、疏松、偏析以及气孔等。根据其分布以及缺陷存在的情况，可以判断钢材的冶金质量；通过推断缺陷的产生原因，可在工艺上采取切实可行的措施，以达到提高产品质量的目的。

酸蚀试样必须取自最易发生各种缺陷的部位。检验钢材表面缺陷（如淬火裂纹、磨削裂纹、淬火软点等）时，应选取钢材或零件的外表面进行酸蚀试验；检验钢材质量时，应在钢材的两端分别截取试样；在解剖钢锭及钢坯时，应选取一个纵向剖面 and 2~3 个横截面试样（钢锭或钢坯的两端头，或上、中、下部位），此时钢中白点、偏析、皮下气泡、翻皮、疏松、残余缩孔、轴向晶间裂纹、折叠裂纹等缺陷可在横截面试样上清楚地显示出来，而钢中的锻造流线、应变线、带状组织等可在纵向试样上显示出来。在进行失效分析或缺陷分析时，除在缺陷处取样外，

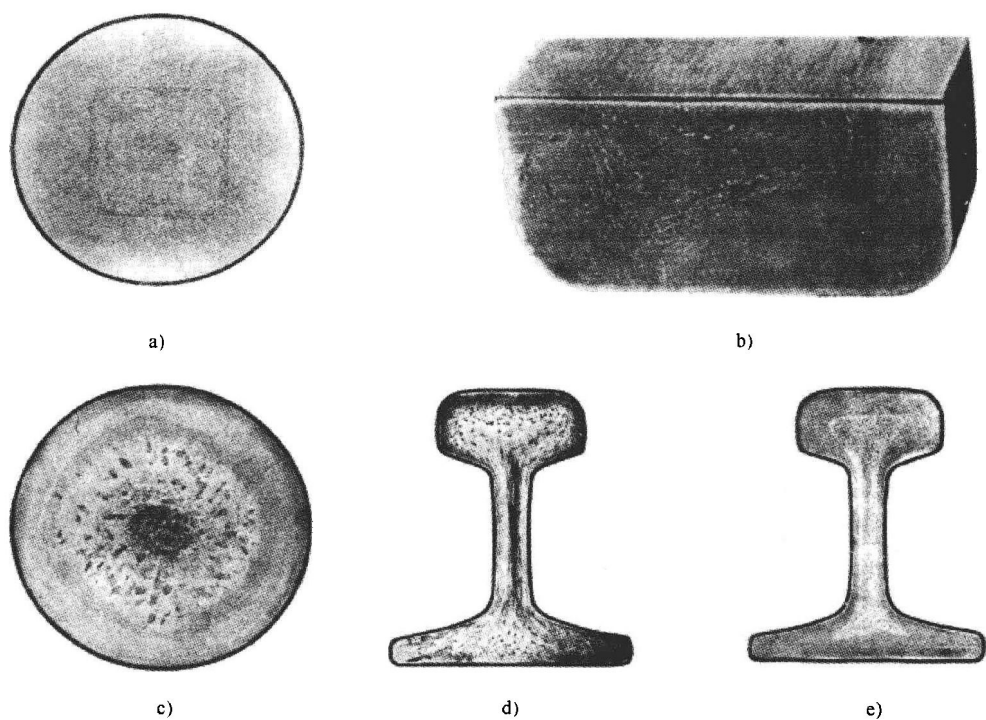


图 1-7 偏析

a、b) 方框偏析 c、d) 点状偏析 e) 锭型偏析

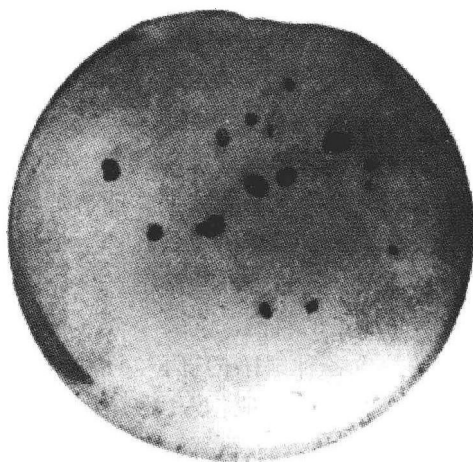


图 1-8 气孔

还应在有代表性的部位选取一个试样，以便与缺陷处进行比较。

酸蚀试样的取样可采用剪、锯、切割等方法进行制备，取样时应避免变形、热



图 1-9 裂纹

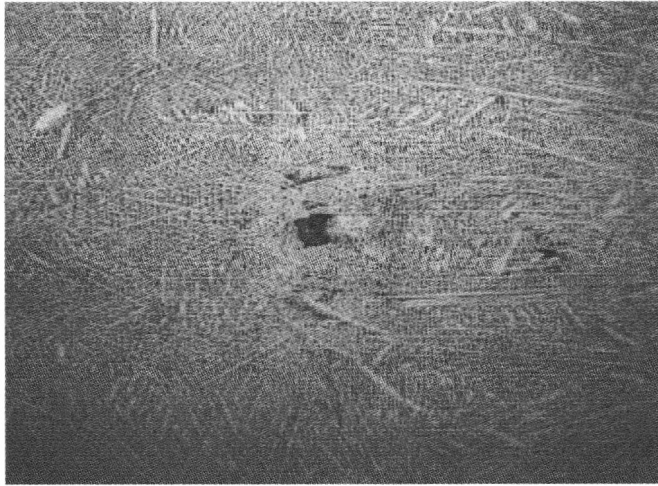


图 1-10 树枝晶

影响以及裂纹等加工缺陷。加工后试样的表面粗糙度 Ra 应不大于 $1.6\mu\text{m}$ ，采用冷酸浸蚀法时 Ra 不大于 $0.8\mu\text{m}$ ，试面不得有油污和加工伤痕。

纵向试样的厚度一般为 20 mm ，试面应垂直于钢材（坯）的延伸方向。纵向试样的长度一般为边长或直径的 1.5 倍，试面一般应通过钢材（坯）的纵轴，试面最后一次的加工方向应垂直于钢材（坯）的延伸方向。钢板试面的尺寸一般长为 250 mm ，宽为板厚。检验钢材表面缺陷应取钢材的毛面，即钢材表面无需进行任何机械加工，可直接置于酸液中进行腐蚀。

将酸蚀试样在粗砂纸上经磨平、清水冲洗、侵蚀、清水冲洗擦拭、吹干等操作

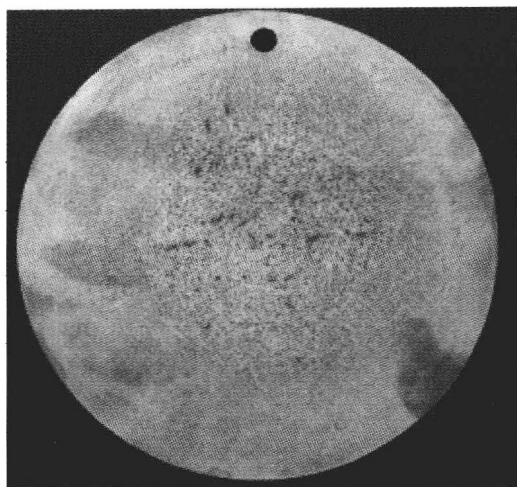


图 1-11 白点

后，试样表面就露出宏观组织，即可观察其表面。常用宏观分析腐蚀试剂可参见附录 A 中表 A-2。酸蚀试验分为热酸蚀试验和冷酸蚀试验。

1. 热酸蚀试验

热酸蚀试样的腐蚀属于电化学腐蚀范畴。试样的化学成分不均匀，物理状态差异较大并存在其他各种缺陷时，会造成试样中存在许多不同的电极电位，组成许多微电池。微电池中电位较高的部位为阴极，电位较低的部位为阳极。阳极部位发生腐蚀，阴极部位不发生腐蚀。当酸液加热到一定温度时，这种电极反应会加速进行，加快了试样的腐蚀。

试验所需的设备包括除油槽、酸蚀槽、加热器、碱水槽、流水冲洗槽、电热吹风机。

试验操作程序：除油→酸蚀（加热）→中和（碱水槽）→冲洗→烘干。

首先将配制好的酸液放入酸蚀槽内，并在加热炉上加热。将已加工好的试样用塑料导线将其绑扎好，并将试样的腐蚀面向上置于酸蚀槽内，到达预定温度后开始计算浸蚀时间。经过预定的酸蚀时间后将试样从酸液中取出，放入碱液槽里进行中和处理，然后放入流动的清水中冲洗，并用电热风机吹干试面上的水渍。经过上述操作的试样即可用肉眼或放大镜进行检验，必要时可进行照相。为了以后进行复查或作其他用途，可将试样放在干燥器中，或在试样表面涂上一层油脂，以防生锈。常用热酸蚀试剂和试验规范可参见附录 A 中表 A-3。

2. 冷酸蚀试验

冷酸蚀是直接利用腐蚀剂在试样表面进行腐蚀，它对试样表面粗糙度的要求比热酸蚀高一些，一般要求达到 $0.8\mu\text{m}$ ，因此特别适合不能切割的大型锻件和外形不

能破坏的大型机器零件。冷酸蚀有浸蚀和擦蚀两种方法，腐蚀的时间以准确、清晰地显示钢的低倍组织及宏观缺陷组织为准。常用冷酸蚀试剂和试验规范可参见附录 A 中表 A-4。

(1) 冷酸浸蚀法的操作程序 首先，用蘸有四氯化碳或酒精的药棉对试样表面进行清洗。然后将试样置入放有冷蚀液的容器中，试样面向上且被冷蚀液浸没；此时要不断地用玻璃棒搅拌溶液，使试样受蚀均匀。试样自冷蚀液中取出后，放入流动的清水中冲洗，同时用软毛刷洗刷试面上的腐蚀产物。如果试面上的低倍组织和缺陷未被清晰显示，试样仍可再次放入冷蚀液中继续腐蚀，直至显示出清晰的低倍组织和宏观缺陷为止。

清洗后的试样用沸水喷淋，并用无颜色的干净毛巾包住吸水，然后再用电热吹风机吹干。经上述处理的试样就可肉眼或低倍放大镜来仔细观察其低倍组织或宏观缺陷组织，并按照相应的评级标准进行评级。

(2) 冷酸擦蚀法的操作程序 此方法特别适用于现场腐蚀和不能破坏的大型机件。具体操作程序为：试样表面的清洗方法如前所述，清洗后取一团干净棉花并蘸吸冷蚀液，不断地擦蚀试样面，直至清晰地显示出低倍组织和宏观缺陷为止。随后用稀碱液中和试样面上的酸液，并用清水进行冲洗。最后用酒精喷淋试样面，使其迅速干燥，随后即可通过肉眼和低倍放大镜对试样进行检验和评定。

1.1.3 硫印试验

硫印试验属于贴印分析，是将试样磨平后利用适当的化学试剂与试样表面某些组织发生化学反应，并用相纸记录下来方法。常用的贴印法有硫印、氧印、磷印等。

硫印试验可用来检验硫元素在钢中的分布情况，其原理是用稀硫酸与硫化物发生反应产生硫化氢气体，再使硫化氢气体与相纸上的溴化银作用，生成棕色的硫化银沉淀。相纸上显示棕色印痕之处，便是产生的硫化银沉淀。相纸上印痕颜色的深浅和印痕的多少，是由试样中硫化物的多少决定的。当相纸上呈现大斑点的棕色印痕时，则表示试样中的硫偏析较重、含量较多，反之则表示硫偏析较轻、含量较低。硫印试验是一种定性试验，仅以硫印试验结果来估计钢的硫含量是不恰当的。

钢的硫印检验按国家标准 GB/T 4236—1984 进行评定。该标准适用于硫的质量分数低于 0.1% 的合金钢和非合金钢，对硫的质量分数高于 0.1% 的钢也可以进行试验，但须先用非常稀的硫酸溶液进行混合。

1. 硫印试样的选取和制备

硫印试验可在产品或产品切取的试样上进行，通常在棒材、钢坯和圆钢等产品上以垂直于轧制方向的截面切取试样。硫印试样一般用锯床或切片机来截取，当用热切割方法时，受检面必须远离热切割的影响面（通常为 30 ~ 50mm）。

2. 硫印试验的材料及操作步骤

(1) 硫印所需的材料和试剂

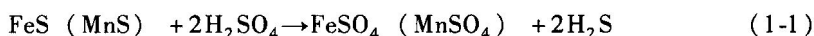
1) 相纸；质量分数为 5% 的硫酸水溶液，如果需要也可采用其他浓度的硫酸水溶液。

2) 定影液 (F-5)。

(2) 硫印程序 将试样磨平并用水或汽油洗净，选用反差较大的光面印相纸（曝过光的废相纸仍可使用），浸入质量分数为 5% 的硫酸水溶液中约 5min，取出后垂直晾晒，使多余的硫酸流走，然后将相纸的药面对着试样表面压紧，注意两者不能相对移动，而且必须将两接触面之间的气泡赶走。5min 后将相纸揭下，先用水冲洗，然后放入定影液 (F-5) 中定影 10min，最后用流水冲洗、烘干。相纸上的黑褐色斑点即表示了试样上硫的分布。

3. 硫印的原理

钢中的硫常以 MnS 或 FeS 的形式存在，硫化物与相纸的硫酸发生反应生成硫化氢：



硫化氢又与相纸上的溴化银发生反应生成硫化银：



硫化银沉淀使相纸上出现黑褐色斑点。直接用重铬酸钾硫酸水溶液腐蚀样品的表面，可以看到锻件中硫的分布，如图 1-12 所示。

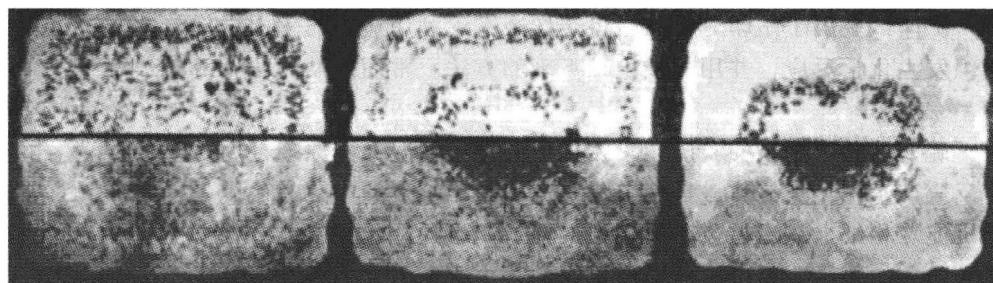


图 1-12 未腐蚀试样（上半部分）和硫印（下半部分）的对比

1.2 钢的火花检验

现代鉴别和分析金属材料的方法，大体可分为化学分析法和物理分析法两大类，各种方式的化学分析法虽然精确，但必须具备高精度的分析仪器，对设备的要求高、投资大，并且程序多、时间长；物理分析法可分为声别法、目鉴法、宏观法、微观法、硬度法、波段法、火花法、磁场法等。最简单和常见的是火花法，其特点是设备简单，操作方便，对金属牌号及其化学成分的鉴定分析速度快，准确性